Вестник Донского государственного технического университета. 2018. Т. 18, № 3. С. 318–325. ISSN 1992-5980 eISSN 1992-6006
Vestnik of Don State Technical University. 2018. Vol. 18, no. 3, pp. 318–325. ISSN 1992-5980 eISSN 1992-6006

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 621.62-52 https://doi.org/10.23947/1992-5980-2018-18-3-318-325

Методика функциональной унификации адаптивного модуля гидропривода с функцией стабилизации нагрузки на рабочем органе мобильных машин*

В. А. Першин[1], Т. А. Хиникадзе[2]**
[1,2] Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) г. Шахты Донского государственного технического университета, Российская Федерация

Technique of functional unification of adaptive hydraulic drive module capable of load stabilization on the working body of mobile machines***

V. A. Pershin[1], T. A. Khinikadze[2]**
[1,2] Institute of Service and Business (DSTU branch), Shakhty, Russian Federation

Введение. Исследованы вопросы функциональной унификации адаптивного модуля гидропривода. Впервые рассмотрены принципы самоадаптации с учетом внутренних адаптивных связей управления нагрузкой и согласованности движений на рабочем органе мобильных машин.
Цель работы — создание и анализ методики функциональной унификации адаптивного модуля гидропривода. Для достижения поставленной цели решен ряд задач. Обоснован выбор технических устройств — унифицируемых адаптивных модулей гидропривода мобильных машин. Предложены методика и показатели функциональной унификации модуля. Рассмотрены внутренние связи: прямая положительная и обратная отрицательная. Показано их влияние на свойство функциональной унификации адаптивного модуля.
Материалы и методы. Для синтеза и анализа показателей функциональной унификации адаптивного модуля принят метод подобия функционирования технических систем.
Результаты исследования. Разработана методика проведения конструктивно-функциональной унификации модулей с самоадаптацией. Показаны возможные варианты модификации унифицируемых модулей и соответствующие им сочетания гидродвигателей, регулирующей аппаратуры и математических моделей адаптивных связей. Предложены критерии и индикаторы подобия. Выполнен анализ функциональной унификации внутренних адаптивных связей модуля с разными типами гидродвигателей и элементов дросселирования жидкости в гидросистеме. Сформулированы рекомендации проведения функциональной унификации при типизации и эксплуатации (наладке) адаптивного модуля.
Обсуждение и заключения. Методика рекомендована для функциональной унификации гидравлического модуля с самоадаптацией. Она может использоваться при разработке типоразмеров модуля и в процессе его эксплуатации в качестве автономного привода или подсистемы

Introduction. Issues on the functional unification of the adaptive hydraulic drive module are studied. For the first time, self-adapting mechanisms are considered taking into account adaptive intercommunication of the load control and agreement of motions on the working body of the mobile machines. The work objective is to create and analyze the technique of the functional unification of the adaptive hydraulic drive module. In the furtherance of this goal, a number of tasks are solved. The selection of technical equipment – unified adaptive hydraulic drive modules of the mobile machines – is validated. The methodology and indicators of the module functional unification are described. Intercommunications are considered: direct positive and back negative ones. Their effect on the functional unification property of the adaptive module is shown.
Materials and Methods. For the synthesis and analysis of the functional unification indicators of the adaptive module, a similarity method of the technical systems operation is adopted.
Research Results. Techniques for structural-functional unification of the self-adapting modules are developed. Optional versions of the unified modules modification and proper combinations of hydraulic motors, regulating equipment, and mathematical models of adaptive communications are presented. Criteria and indicators of similarity are proposed. The functional unification of the adaptive intercommunications of the module and different types of the hydraulic motors and fluid throttling elements in the hydraulic system are analyzed. Recommendations for implementing the functional unification under typing and operation (adjustment) of the adaptive module are formulated.
Discussion and Conclusions. The methodology is recommended for the functional unification of the hydraulic self-adapting module. It can be used for the development of unit sizes and

* Работа выполнена в рамках инициативной НИР.
** E-mail: vpershin2013@gmail.com, khinikadze@mail.ru
*** The research is done within the frame of independent R&D.



гидропривода многофункциональной или комбинированной машины.

under its operation as an independent drive or a hydraulic drive subsystem of a multifunctional or combined machine.

Ключевые слова: функциональная унификация; типизация; гидропривод; типовой унифицированный модуль с самоадаптацией; метод подобия функционирования; мобильные машины.

Keywords: functional unification, typing, hydraulic drive, standard unified self-adapting module, method of operation similarity, mobile machines.

Образец для цитирования: Першин, В. А. Методика функциональной унификации адаптивного модуля гидропривода с функцией стабилизации нагрузки на рабочем органе мобильных машин / В. А. Першин, Т. А. Хиникадзе // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2018. — Т. 18, № 3. — С. 319−326. https://doi.org/10.23947/1992-5980-2018-18-3-318-325

For citation: V.A. Pershin, T.A. Khinikadze. Technique of functional unification of adaptive hydraulic drive module capable of load stabilization on the working body of mobile machines. Vestnik of DSTU, 2018, vol. 18, no.3, pp. 319−326. https://doi.org/10.23947/1992-5980-2018-18-3-318-325

Введение. Многофункциональные и комбинированные мобильные машины активно используются в сложных условиях: при выполнении дорожно-строительных и сельскохозяйственных работ. Как правило, их эксплуатация предполагает ручное или жестко запрограммированное управление. Таким образом, актуально создание простых функционально унифицированных приводов (модулей) мобильных машин, способных адаптироваться к переменным свойствам обрабатываемой среды [1].

Следует отметить, что вопросы унификации связаны с решением ряда научно-практических задач. Одна из них — проблема типоразмеров функционально унифицированных изделий. Для ее решения используется соответствующий аппарат фундаментальной [2] и прикладной [3, 4, 5] математики. Проводятся исследования адаптивных систем различной структуры и назначения [6], гидроприводов устройств с адаптивно согласованными движениями рабочего органа, воспринимающего стохастические переменные нагрузки [7, 8, 9, 10]. В рамках данной работы рассматривается принцип функциональной унификации в гидроприводе модульного типа с функцией самоадаптации по нагрузке. Исследование и практическое испытание такого модуля проводятся впервые.

Материалы и методы. В качестве базовых объектов исследования приняты устройство для бурения породы с переменными свойствами [11] и устройство для обработки криволинейных поверхностей [12] (рис. 1, 2).

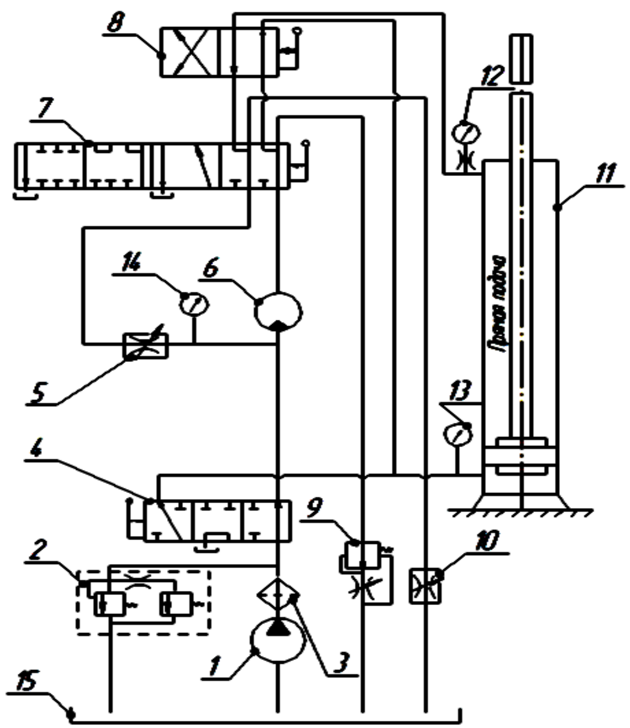


Рис. 1. Принципиальная схема устройства для бурения породы с переменными свойствами [3]

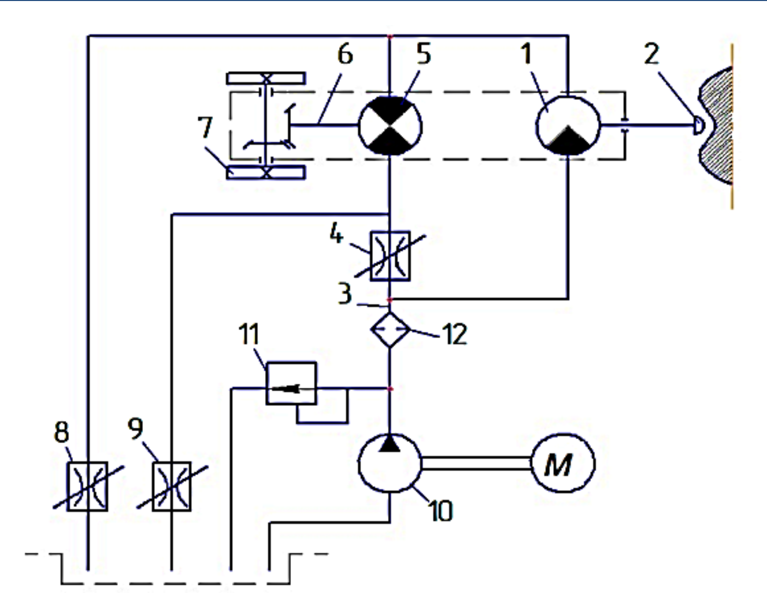


Рис. 2. Принципиальная схема устройства для обработки криволинейных поверхностей [2]

На представленных схемах пронумерованы следующие элементы (для рис. 2 обозначения даны в скобках): 1 (10) — гидронасос постоянной производительности; 2 (11) — предохранительный клапан; 3 (12) — фильтр; 4, 7, 8 — гидрораспределители; 5 (4) — дроссель (регулятор режимов); 6 (1) — гидромотор главного движения; 9 — регулятор потока; 10 — подпорный регулируемый дроссель; 11 — гидроцилиндр подачи; 12, 13, 14 — манометры; 15 — бак; (2) — рабочий орган; (3) — гидросистема; (5) — реверсируемый гидромотор подачи; (6) — вал гидромотора подачи; (7) — механизм подачи; (8, 9) — регулируемые дроссели.

Элементы гидросистемы этих устройств (в том числе их модификации [13]) структурно объединены по дифференциальной схеме.

Между сливными линиями регулятора режимов и гидромотора главного движения дополнительно включены гидроцилиндр (рис. 1) или гидромотор (рис. 2). Таким образом устанавливаются две связи: обратная отрицательная и прямая положительная.

На сливной линии гидромотора главного движения рассматриваемого устройства для бурения находится регулятор потока (рис. 1). На сливной линии гидромотора главного движения устройства для обработки криволинейных поверхностей находится регулируемый дроссель (рис. 2). В этом состоит принципиальное отличие данных устройств.

Такие вариации унифицированных модулей позволяют обеспечить сочетание движений рабочего органа мобильной машины: вращение — подача; вращение — вращение; подача — подача [14].

Конструктивные отличия влияют на характеристики прямой положительной и обратной отрицательной связей устройств, одновременно унифицированных и модульных (табл. 1, 2).

Таблица 1

Функциональные зависимости адаптивных связей модуля с регулятором потока

Типы гидродвигателей модуля	Функции адаптивных связей модуля	
	Обратная отрицательная	Прямая положительная
Гидромотор главного движения — гидромотор подачи	$\omega_{\text{гп}} = AM_0 - (BM_{\text{сгд}} + CM_{\text{сдп}})$	$\omega_{\text{гп}} = k_1\omega_{\text{гд}}$
Гидромотор главного движения — гидроцилиндр подачи	$\omega_{\text{гп}} = AM_0 - (BM_{\text{сгд}} + CM_{\text{сдп}})$	$v_{\text{цп}} = k_2\omega_{\text{гд}}$
Гидроцилиндр главного движения — гидроцилиндр подачи	$v_{\text{цп}} = AM_0 - (BM_{\text{сгд}} + CM_{\text{сцп}})$	$v_{\text{цп}} = k_3 v_{\text{цп}}$

http://vestnik.donstu.ru

Таблица 2

Функциональные зависимости адаптивных связей модуля с регулируемым дросселем

Типы гидродвигателей модуля	Функции адаптивных связей модуля	
	Обратная отрицательная	Прямая положительная
Гидромотор главного движения — гидромотор подачи	$\omega_{гп} = AM_0 - (BM_{сгд} + CM_{сдп})$	$\omega_{гп} = k_1\omega_{гд} - \mu \frac{f_{др8}}{f_{цп}} \sqrt{\frac{2\Delta P_{др8}}{\rho}}$
Гидромотор главного движения — гидроцилиндр подачи	$\omega_{гп} = AM_0 - (BM_{сгд} + CF_{сдп})$	$v_{цп} = k_2\omega_{гд} - \mu \frac{f_{др8}}{f_{цп}} \sqrt{\frac{2\Delta P_{др8}}{\rho}}$
Гидроцилиндр главного движения — гидроцилиндр подачи	$v_{цп} = AM_0 - (BF_{сгд} + CF_{сцп})$	$v_{цп} = k_3 v_{цгд} - \mu \frac{f_{др8}}{f_{цп}} \sqrt{\frac{2\Delta P_{др8}}{\rho}}$

Отметим, что соотношение скоростей выходных элементов гидродвигателей (см. табл. 2) не зависит от расхода через регулятор потока, так как этот показатель не зависит от перепада давления на аппарате, т. е. $Q_{рп} = const$.

Адаптивные связи играют особую роль при действии рабочих органов машин в режимах с требуемыми показателями скорости выполнения операций и устойчивости [14]. Рассмотренные выше конструктивно-функциональные особенности устройств (наличие регулируемого дросселя или регулятора потока) позволяют реализовать такие связи.

В таблице 1 и 2 приняты условные обозначения: $v_{цп}$ — скорость штока; $f_{цп}$ — площадь поперечного сечения гидроцилиндра подачи; $\omega_{гд}$ — угловая скорость гидромотора главного движения; A, B, C — постоянные коэффициенты, зависящие от моментов инерции, кинематических параметров и КПД узлов привода главного движения и привода подачи модуля; M_0 — номинальный и расчетный суммарный момент сопротивления, соответствующий процессу обработки без адаптации; $f_{др8}$ — площадь проходного сечения дросселя Др$_8$; $M_{сгд}$, $M_{сдп}$ — действительные моменты сопротивления, воспринимаемые соответственно валом привода главного движения и валом подачи; $F_{сгд}, F_{сцп}$ — действительные усилия сопротивления, воспринимаемые соответственно штоком гидроцилиндров главного движения и цилиндра подачи; $\Delta P_{др8}$ — перепад давления на дросселе Др$_8$; ρ — плотность рабочей среды в гидросистеме (масло); k_1, k_2, k_3 — коэффициенты перевода конструктивных особенностей и размерностей скоростей движений.

Отрицательная обратная связь позволяет в процессе работы модуля стабилизировать действительный суммарный момент (усилие) сопротивления на рабочем органе. В этом случае автоматически сравниваются:
— действительный момент сопротивления со значением, заданным регулятором режимов;
— изменения скоростей подачи и главного движения со знаком, обратным сигналу рассогласования.

Ниже приводятся соответствующие уравнения обратной связи по ускорениям вала гидромотора подачи.

При наличии регулятора потока:

$$\varphi_{гп} = \frac{1}{k_{сгп}} \left[-A \frac{\pm\frac{d}{dt}(B\Delta M^0_{сгд} + C\Delta M^0_{сдп})}{(B\Delta M^0_{сгд} + C\Delta M^0_{сдп})^{0,5}} \right]. \quad (1)$$

При наличии регулируемого дросселя:

$$\varphi_{гп} = -\frac{1}{k_{сгп}} [(A \frac{\pm\frac{d}{dt}(B\Delta M^0_{сгд} + C\Delta M^0_{сдп})}{(B\Delta M^0_{сгд} + C\Delta M^0_{сдп})^{0,5}} + \mu_{др3} f_{др3} \frac{d}{dt} \sqrt{\frac{2(\Delta P^0_{др3} \pm \delta(\Delta P^0_{др3})}{\rho}})]. \quad (2)$$

Методика проведения функциональной унификации определяется ее целями и особенностями, а также этапом жизненного цикла модуля. Вместе с тем следует отметить и общие шаги ее реализации:

— уточнение функционального назначения и условий функционирования унифицируемого модуля;

— предварительный сбор данных в рамках конструктивной и функциональной унификации гидроаппаратов типового и унифицируемого модуля (в том числе условий однозначности; номинальных и граничных значений параметров функционирования, особенно перепадов давлений на гидроаппаратах в условиях динамического равновесия гидросистемы);

— уточнение вида адаптивных связей по конструктивным особенностям модулей (в соответствии с табл. 1 и 2).

При соблюдении отмеченных общих положений функциональная унификация адаптивных связей выполняется в определенной последовательности.

— Расчетом или по техническому заданию, паспорту уточняют значения рабочих (или максимальных) нагрузок на рабочем органе мобильной машины с унифицируемым модулем.

— В соотношении с типовым модулем определяют функциональные и конструктивные значения параметров элементов гидросистемы унифицируемого модуля. При этом используются номограммы, графики или расчеты (например, методом подобия функционирования) [15].

Результаты исследования. При выполнении унификации используется принцип суперпозиции функций.

Кратко рассмотрим пример методики проведения функциональной унификации гидродвигателей гидросистемы модуля.

Выходными характеристиками гидромотора и гидроцилиндра являются угловая скорость (частота вращения) и момент на валу гидромотора, линейная скорость и усилие на штоке гидроцилиндра. Функциональные зависимости, определяющие эти характеристики, имеют вид [16]:

а) для гидромотора

$$M_{гм} = f_1(P_{вх}, q, \beta, J, M_{тр}, \Delta P_{ут}(Q_{ут}, f_{щ}, \rho)),$$
$$n_{гм} = f_2(Q, q, \upsilon, E, Q_{ут}(\Delta P_{ут}, f_{щ}, \rho)); \qquad (3)$$

б) для гидроцилиндра

$$V_{ш} = f_1(Q, d_{ц}, \delta, \rho, \Delta \text{P}_{ц}, E, V_v),$$
$$F_{ш} = f_2(\Delta \text{P}_{ц}, \Delta F_{п}, m_{пд}, F_{стр}, \mu, F_{вт}, \beta). \qquad (4)$$

Здесь $n_{гм}$ — частота вращения вала; q — объем масла; Q — расход (подача) масла; E — модуль упругости; μ — динамическая вязкость масла; ρ — плотность масла; $P_{вх}$ — давление на входе; $\Delta P_{ут}$ — перепад давления на элементе утечек; $Q_{ут}$ — величина утечек; $f_{щ}$ — площадь щели, через которую проходит утечка; J — момент инерции; β — коэффициент сжатия масла; $F_{стр}$, $F_{вт}$ — приведенные силы страгивания и внутреннего трения в гидроцилиндре; r — радиус вращения масс; ξ, v — конструктивные коэффициенты; $M_{в}$ — момент на валу; $M_{тр}$ — момент трения; $\Delta P_{ц}$ — перепад давления на гидроцилиндре; $F_{ш}$ — усилие на штоке; ΔFп — разность усилий на поршне.

При проведении конструктивно-функциональной унификации используют частные критерии подобия унификации [17], полученные методом анализа размерностей [15].

Для гидромотора критерии подобия унификации имеют вид:

$$\pi_n = \frac{n}{Q} f_{ц}^{1,5}; \pi_q = \frac{q}{Q} f_{щ}^{1,5}; \pi_E = \frac{E}{\Delta P}; \pi_\beta = \beta P_{вх}, \qquad (5)$$
$$\pi_{M_{тр}} = \frac{M_{тр}\rho^3}{P_{вх}J^3}; \pi_{\Delta P} = \frac{\Delta P}{P_{вх}}; _j = \frac{f_{ц}\rho^2}{J^2};$$
$$\pi_{Qc} = \frac{Qc\mu^{0,33}}{P_{н}^{0,33} q}; \ \pi_{pc} = \frac{\rho\, q^{0,67}}{P_{н}^{0,33}\mu^{0,67}}.$$

Критерии подобия унификации имеют определенный функциональный или конструктивный смысл, а именно: π_n — критерий расходно-кинематических параметров; π_q — критерий, характеризующий соотношение конструктивных и расходных (функциональных характеристик); π_E — критерий, характеризующий номинальную жесткость рабочей жидкости; π_μ — критерий теоретического (индикаторного) момента на валу насоса; π_β — критерий упругой деформации рабочей жидкости; π_{Mm} — критерий потерь на трение в сопряжениях; π_J — критерий потерь на инерционное, гидромеханическое сопротивление; π_{Q_c} — критерий потерь на гидродинамическое сопротивление рабочей жидкости; $\pi_{\Delta P_y}$ — критерий потерь на преодоление утечек рабочей жидкости; π_{pc} — критерий потерь на внутреннее (вязкое) сопротивление рабочей среды.

Таким образом, каждый критерий отражает сущность одного из свойств функциональной унификации модуля, а любая система критериев отражает это свойство обобщенно.

Обобщенные критерии подобия унификации, полученные путем объединения частных критериев, представляются в виде:

$$M_г = \frac{\pi_м \pi_{P_в} \pi_щ}{\pi_E \pi_r \pi_y \pi_{N_T} \pi_Q \pi_\rho} \frac{Pq^{0,67} rJN_{тр} Q\rho}{P_в \mu Efy}; n_г = \pi_n \pi_q \pi_\nu \pi_E^{-1} \pi_y \frac{Qf_{рэ} f_y^2 E\Delta P_y}{q^2 \nu P\rho Q_y}. \quad (6)$$

Соответствующие частные индикаторы подобия функциональной унификации C_i, получают из уравнений (5) для унифицируемого и типового модулей [15]. При этом должны быть равны соответственные числа подобия π_{yi} и π_{mi} для типового и унифицируемого модулей:

$$\pi_{yi} = \pi_{тi} = idem. \quad (7)$$

В рассматриваемом примере частные индикаторы подобия функциональной унификации имеют вид:

$$1 = \frac{C_n}{C_q} C_{f_ц^{1,5}}; \; 1 = \frac{C_q}{C_q} C_{f_ц^{1,5}}; \; 1 = \frac{C_E}{C_{\Delta P}}; \; 1 = C_\beta C_{P_{вх}}; \; 1 = \frac{C_{M_{тр}} C_{\rho^3}}{P_{вх} J^3}; \quad (8)$$
$$1 = \frac{C_{M_{гм}} \rho^3}{C_{P_{вх}} C_{J^3}}; \; 1 = \frac{\Delta P}{P_{вх}}; \; 1 = \frac{C_Q C_{\mu^{0,33}}}{P_н^{0,33} q}; \; 1 = \frac{C_Q}{C_q^2} \frac{C_{\Delta P_{гм}}}{C_\rho}.$$

Так же, как и критерии подобия функциональной унификации, частные индикаторы можно объединять в комплексы, получая эффект суперпозиции.

Изменение масштаба параметров C_i унифицируемого модуля в индикаторах (8) по отношению к аналогичным параметрам индикаторов типового модуля должно соответствовать условию равенства единице [15]. Например, для выходной характеристики $\Delta P_{гм}$ по индикатору

$$1 = \frac{C_Q}{C_q^2} \frac{C_{\Delta P_{гм}}}{C_\rho} \quad (9)$$

можно исследовать функциональную унификацию по перепаду давления, характерному (рабочему) объему и расходу гидромотора, плотности масла.

Искомый типоразмер одного из параметров унифицируемого модуля определяется подстановкой в (5) и (8) известных значений параметров гидромотора типового модуля и априори известных (установленных техническим заданием и т. п.) значений параметров унифицируемого модуля.

Особенности процедуры исследования функциональной унификации зависят от поставленной задачи. При проведении унификации модуля нового типоразмера сначала выполняют конструктивно-функциональную унификацию, выбор типоразмеров элементов гидросистемы и затем проводят проверку их функционального соответствия внутренним адаптивным связям. Для решения первой задачи используются частные критерии и индикаторы подобия функциональной унификации. Для решения второй задачи используются обобщенные критерии, индикаторы, а также уравнения прямой и обратной адаптивных связей.

Другими задачами унификации адаптивного модуля являются: исследование причин нарушения функциональной унификации в процессе эксплуатации одного и того же адаптивного модуля, а также исследование эффективности функциональной унификации при модернизации адаптивного модуля гидропривода. При этом также может быть использован метод подобия функционирования технических систем [18], [19].

Обсуждение и заключения. Обоснована актуальность разработки и применения в мобильных машинах унифицированного гидропривода модульного типа. Данная конструкция позволяет адаптировать силовые и кинематические параметры при воздействии на рабочий орган переменных нагрузок. Методика проведения конструктивно-функциональной унификации модулей с самоадаптацией предполагает использование математических моделей адаптивных связей. Показаны возможные варианты модификации унифицируемых модулей с самоадаптацией и соответствующие им сочетания гидродвигателей, регулирующей аппаратуры и математических моделей адаптивных связей. Приводится пример методики проведения функциональной унификации с использованием метода подобия функционирования технических систем. Методика рекомендована для исследования функциональной унификации при разработке типоразмеров и в процессе эксплуатации предложенного типа модуля.

Библиографический список

1. Янсон, Р. А. Системная унификация самоходных строительных машин / Р. А. Янсон. — Москва : Изд-во Мос. гос. строит. ун-та, 2005. — 95 с.

2. Латыев, С. М. Конструирование точных (оптических) приборов / С. М. Латыев. — Санкт-Петербург : Политехника, 2007. — 580 с.

3. Унификация изделий. Основные положения : ГОСТ 23945.0-80 [Электронный ресурс] / Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. — Москва : Стандартинформ, 1980. — Режим доступа: http://www.internet-law.ru/gosts/gost/14244 (дата обращения: 02.02.18).

4. Бабаян, Г. Г. Модульный принцип унификации в построении структуры автоматических роторно-конвейерных линий [Электронный ресурс] / Г. Г. Бабаян, А. С. Дегоян, И. Р. Овакимян. — Режим доступа: http://elib.sci.am/2000_2/04/04r.htm (дата обращения 02.02.18).

5. Юревич, Е. И. Основы робототехники / Е. И. Юревич. — Санкт-Петербург : БХВ, 2005. — 416 с.

6. Жмудь, В. А. Адаптивные системы автоматического управления с единственным основным контуром / В. А. Жмудь // Автоматика и программная инженерия. — 2014. — № 2 (8). — С. 106–122.

7. Гинзбург, А. А. Критерии выбора параметров исполнительных органов гидроприводов с адаптацией к нагрузке / А. А. Гинзбург, В. В. Пинчук // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. — 2007. — № 3 (30). — С. 38–44.

8. Некрашевич, К. Я. Математическая модель гидросистемы, реализованной с применением комбинированного принципа адаптации к нагрузке / К. Я. Некрашевич // Механика машин, механизмов и материалов. — 2014. — № 1 (26) — С. 21– 31.

9. Першин, В. А. Повышение качества процесса хонингования цилиндров ДВС путем стабилизации его силовых и адаптации кинематических параметров / В. А. Першин, С. Г. Соловьев // Прогрессивные технологии в транспортных системах : сб. докл. IX Рос. науч.-практ. конф. — Оренбург, 2009. — С. 267–270.

10. Першин, В. А. Адаптивный модуль гидропривода буровой установки / В. А. Першин, С. Г. Соловьев, И. К. Гугуев // Изв. высш. учеб. заведений. Сев.-Кавказ. регион. — 2015. — № 1. — С. 102–106.

11. Способ бурения породы с переменными свойствами и устройство для его осуществления : патент № 2582691 Рос. Федерация : E21B 44/00 / В. А. Першин [и др.]. — № 2015112959/03 ; заявл. 08.04.15 ; опубл. 27.04.16, Бюл. № 12. — 2 с.

12. Устройство для стабилизации толщины снимаемого слоя при механической обработке криволинейных поверхностей : а. с. № 483224 СССР: 23q 5/06, B24b 5/16 / А. Н. Дровников, Г. М. Водяник, В. А. Першин. — № 2018478/25-8 4 ; заявл. 19.04.74 ; опубл. 05.09.75, Бюл. № 33. — 4 с.

13. Способ интенсификации процесса резания : а. с. № 929331 СССР: B 23 B 1/00 / В. И. Толубец [и др.]. — № 2789053/25-08 ; заявл. 04.07.79 ; опубл. 23.05.82, Бюл. № 19. — 4 с.

13. Исследование устойчивости адаптивного модуля гидропривода оборудования для механической обработки материалов / Т. А. Хиникадзе и [др.] // Теоретические и практические аспекты развития современной науки : мат-лы XVIII междунар. конф. — Москва : ЦНИК, 2015. — С. 12–17.

14. Хиникадзе, Т. А. Исследование соответствия характеристик адаптивного модуля гидропривода технологическим параметрам машин / Т. А. Хиникадзе // Молодой исследователь Дона. — 2018. — № 2 (11). — С. 107–112.

15. Першин, В. А. Методология подобия функционирования технических систем / В. А. Першин. — Новочеркасск : УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ) ; Шахты : Изд-во ЮРГУЭС. — 2004. — 227 с.

16. Першин, В. А Модели формирования и управления техническим состоянием гидропривода транспортных машин / В. А. Першин, И. К. Гугуев, С. С. Прискоко // Политранспортные системы : мат-лы VI Всерос. науч.-техн. конф. — Новосибирск : Изд-во СГУСПС, 2009. — 426 с.

17. Хиникадзе, Т. А. Исследование показателей функциональной унификации технических систем на принципах подобия функционирования / Т. А. Хиникадзе, В. А. Першин // Современные проблемы науки, технологий и инновационной деятельности : сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. 31 августа 2017 года / Под общ. ред. Е. П. Ткачевой. — Белгород : АПНИ, 2017. — Ч. I. — С. 112–117.

18. Pershin, V. A. Similarity of Functioning Technical Systems as the Condition Support of Effectiveness in the Process of their Life Cycle / V. A. Pershin // Europäische Fachhochschulle. European Applied Sciences. — 2013. — № 12. — P. 87–89.

19. Bulgakow, A. Criteria of Taking Decisions at Machinery in Conditions of the Construction Plant / A. Bulgakow, A. Drownikow, V. Pershin. //19th International Symposium on Automation Technical Operation of Building and Robotics in Construction. — Washington : U.S. Government printing office, 2002. — P. 103–107.

Поступила в редакцию 16.02 .2018
Сдана в редакцию 16.02.2018
Запланирована в номер 21.06.2018

Received 16.02 .2018
Submitted 16.02.2018
Scheduled in the issue 21.06.2018

Об авторах:

Першин Виктор Алексеевич,
главный научный сотрудник отдела подготовки научных кадров и научных исследований Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ (РФ, 346500, г. Шахты, ул. Шевченко, 147), доктор технических наук, профессор,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7313-4371
vpershin2013@gmail.com

Хиникадзе Тенгиз Анзориевич,
аспирант кафедры «Технические системы ЖКХ и сферы услуг» Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ (РФ, 346500, г. Шахты, ул. Шевченко, 147),
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1709-9505
khinikadze@mail.ru

Authors:

Pershin, Victor A.,
Chief Research Scholar of the Department for Training Scientific Personnel and of Scientific Research, Institute of Service and Business (DSTU branch), (147, Shevchenko St., Shakhty, Rostov Region, RF), Dr,Sci. (Eng.), professor,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7313-4371
vpershin2013@gmail.com

Khinikadze, Tengiz A.,
postgraduate student of the Technical Systems of Housing and Public Utilities and Service Department, Institute of Service and Business (DSTU branch), (147, Shevchenko St., Shakhty, Rostov Region, RF),
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1709-9505
khinikadze@mail.ru